



IPW

TRANSMITTAL FORM (to be used for all correspondence after initial filing)		Application No.	10/666,482
		Filing Date	September 18, 2003
		First Named Inventor	Koji Yamada
		Art Unit	
		Examiner Name	
Total Number of Pages in This Submission	10	Attorney Docket Number	96790P442

ENCLOSURES (check all that apply)		
<input checked="" type="checkbox"/> Fee Transmittal Form <input type="checkbox"/> Fee Attached <input type="checkbox"/> Amendment / Response <input type="checkbox"/> After Final <input type="checkbox"/> Affidavits/declaration(s) <input type="checkbox"/> Extension of Time Request <input type="checkbox"/> Express Abandonment Request <input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement <input type="checkbox"/> PTO/SB/08 <input checked="" type="checkbox"/> Certified Copy of Priority Document(s) <input type="checkbox"/> Response to Missing Parts/ Incomplete Application <input type="checkbox"/> Basic Filing Fee <input type="checkbox"/> Declaration/POA <input type="checkbox"/> Response to Missing Parts under 37 CFR 1.52 or 1.53	<input type="checkbox"/> Drawing(s) <input type="checkbox"/> Licensing-related Papers <input type="checkbox"/> Petition <input type="checkbox"/> Petition to Convert a Provisional Application <input type="checkbox"/> Power of Attorney, Revocation Change of Correspondence Address <input type="checkbox"/> Terminal Disclaimer <input type="checkbox"/> Request for Refund <input type="checkbox"/> CD, Number of CD(s)	<input type="checkbox"/> After Allowance Communication to Group <input type="checkbox"/> Appeal Communication to Board of Appeals and Interferences <input type="checkbox"/> Appeal Communication to Group (Appeal Notice, Brief, Reply Brief) <input type="checkbox"/> Proprietary Information <input type="checkbox"/> Status Letter <input checked="" type="checkbox"/> Other Enclosure(s) (please identify below): <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;">Request for Priority; return postcard</div>
Remarks		

SIGNATURE OF APPLICANT, ATTORNEY, OR AGENT	
Firm or Individual name	Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139 BLAKELY, SOKOLOFF, TAYLOR & ZAFMAN LLP
Signature	
Date	

CERTIFICATE OF MAILING/TRANSMISSION			
I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.			
Typed or printed name	Melissa Stead		
Signature		Date	11-11-05



FEE TRANSMITTAL for FY 2005

Patent fees are subject to annual revision.

Complete if Known

Application Number	10/666,482
Filing Date	September 18, 2003
First Named Inventor	Koji Yamada
Examiner Name	
Art Unit	
Attorney Docket No.	96790P442

☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.

TOTAL AMOUNT OF PAYMENT (\$)

METHOD OF PAYMENT (check all that apply)

☐ Check ☐ Credit card ☐ Money Order ☒ None ☐ Other (please identify):

☒ Deposit Account Deposit Account Number: 02-2666 Deposit Account Name: Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

For the above-identified deposit account, the Director is hereby authorized to: (check all that apply)

☐ Charge fee(s) indicated below ☐ Charge fee(s) indicated below, except for the filing fee
☒ Charge any additional fee(s) or underpayment of fee(s) under 37 CFR §§ 1.16, 1.17, 1.18 and 1.20. ☐ Credit any overpayments

FEE CALCULATION

Large Entity		Small Entity		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1051	130	2051	65	Surcharge - late filing fee or oath	
1052	50	2052	25	Surcharge - late provisional filing fee or cover sheet.	
2053	130	2053	130	Non-English specification	
1251	120	2251	60	Extension for reply within first month	
1252	450	2252	225	Extension for reply within second month	
1253	1,020	2253	510	Extension for reply within third month	
1254	1,590	2254	795	Extension for reply within fourth month	
1255	2,160	2255	1,080	Extension for reply within fifth month	
1401	500	2401	250	Notice of Appeal	
1402	500	2402	250	Filing a brief in support of an appeal	
1403	1,000	2403	500	Request for oral hearing	
1451	1,510	2451	1,510	Petition to institute a public use proceeding	
1460	130	2460	130	Petitions to the Commissioner	
1807	50	1807	50	Processing fee under 37 CFR 1.17(q)	
1806	180	1806	180	Submission of Information Disclosure Stmt	
1809	790	1809	395	Filing a submission after final rejection (37 CFR § 1.129(a))	
1810	790	2810	395	For each additional invention to be examined (37 CFR § 1.129(b))	

Other fee (specify) _____

SUBTOTAL (2) (\$)

SUBMITTED BY

Complete (if applicable)

Name (Print/Type)	Eric S. Hyman	Registration No. (Attorney/Agent)	30,139	Telephone	(310) 207-3800
Signature		Date	11/16/05		



DOCKET NO.: 96790P442

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

KOJI YAMADA, ET AL.

Application No.: 10/666,482

Filed: September 18, 2003

For: **Optical Module and Manufacturing Method Therefor**

Art Group:

Examiner:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

REQUEST FOR PRIORITY

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely:

COUNTRY	APPLICATION NUMBER	DATE OF FILING
Japan	2002-275216	20 September 2002
Japan	2002-290775	3 October 2002
Japan	2002-293457	7 October 2002
Japan	2002-302960	17 October 2002
Japan	2002-336135	20 November 2002

☒ A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

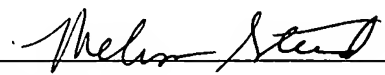
Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

Dated: 11/17/05


Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139

12400 Wilshire Boulevard, 7th Floor
Los Angeles, CA 90025
Telephone: (310) 207-3800

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.


Melissa Stead

11-11-05
Date

P15569-A

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

10,666,482

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月20日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-275216

[ST. 10/C]:

[JP2002-275216]

出 願 人

Applicant(s):

日本電信電話株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

BEST AVAILABLE COPY

2003年 8月27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH145991

【提出日】 平成14年 9月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 莊司 哲史

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 森田 博文

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 高橋 淳一

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 土澤 泰

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 内山 真吾

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 渡辺 俊文

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 為近 恵美

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 山田 浩治

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064621

【弁理士】

【氏名又は名称】 山川 政樹

【電話番号】 03-3580-0961

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006194

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0205287

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光モジュール及び製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に形成されたアンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第 1 のコアとを備えた第 1 の光導波路と、

前記アンダークラッド上に前記第 1 のコアの端部と一体に連結して形成され、先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部と、

前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に前記テーパ部を覆うように形成された第 2 のコアとを備えた、前記第 1 の光導波路よりモードフィールド径が大きい第 2 の光導波路とを有し、

前記第 1 のコア及びテーパ部がシリコン酸化膜で覆われていることを特徴とする光モジュール。

【請求項 2】 基板上に形成されたアンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第 1 のコアとを備えた第 1 の光導波路と、前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成された第 2 のコアとを備えた、前記第 1 の光導波路よりモードフィールド径が大きい第 2 の光導波路とを有し、前記第 1 の光導波路と前記第 2 の光導波路とを光学的に接続する光モジュールの製造方法であって、

前記アンダークラッドの上に、前記第 1 のコアの端部と一体に連結し前記第 2 の光導波路側に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部を形成する工程と、

前記第 1 のコア及びテーパ部を酸化する工程と、

前記酸化したテーパ部を覆うように前記第 2 のコアを形成する工程とを有することを特徴とする光モジュールの製造方法。

【請求項 3】 請求項 2 記載の光モジュールの製造方法において、

前記第 1 のコア及びテーパ部を酸化する工程に熱酸化工程を用いることを特徴とする光モジュールの製造方法。

【請求項 4】 請求項 2 記載の光モジュールの製造方法において、

前記第 1 のコア及びテーパ部を酸化する工程により酸化するシリコンの厚さは

、酸化前の前記テーパ部の先端幅寸法の半分以上であることを特徴とする光モジュールの製造方法。

【請求項5】 請求項2記載の光モジュールの製造方法において、

前記第1のコア及びテーパ部を酸化する工程は、前記第1のコア及びテーパ部の側面だけを酸化することを特徴とする光モジュールの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、オプトエレクトロニクス分野、光通信分野において使用される光導波路型フィルターなどの平面光波回路において、SOI基板上に構築されるシリコン細線光導波路に係り、特にシリコン細線光導波路よりモードフィールド径が大きい光導波路とシリコン細線光導波路とを光学的に接続するスポットサイズ変換構造を備えた光モジュールとその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光回路の小型化を目指して、SOI (Silicon On Insulator) 基板を利用したシリコン細線光導波路やフォトリソ結晶導波路の研究開発が行われている。これらの光導波路と光ファイバとの接続で問題となるのが、それぞれのモードフィールド径であり、光導波路ではモードフィールド径がサブミクロンのオーダーとなる。したがって、光導波路とモードフィールド径の大きい通常の光ファイバとを効率的に直接接続することは困難であり、低損失な接続を行うためには、スポットサイズの変換が必要である。

【0003】

このため、各種のスポットサイズ変換構造が試みられてきた。その一例として、シリコン細線光導波路を形成したSOI基板上に石英系もしくはポリマーからなる接続用導波路を設け、この接続用導波路と先端をテーパ状に加工したシリコン細線光導波路とをオーバーラップさせることで、効率の高いモードフィールド径変換を実現することができる（例えば、非特許文献1参照）。

【0004】

図9 (a) はスポットサイズ変換構造を備えた従来の光導波路の平面図、図9 (b) は図9 (a) の光導波路の断面図である。図9において、10はシリコン細線光導波路、11はスポットサイズ変換構造、12は接続導波路、13はシリコン基板、14は石英よりなるアンダークラッド、15はポリマーよりなるオーバークラッド、16はシリコンよりなるコア、17はシリコンよりなるテーパ部、18はポリマーよりなるコアである。シリコン細線光導波路10と接続導波路12は、シリコン基板13とアンダークラッド14を共通基板として形成され、スポットサイズ変換構造11を介して光学的に接続されている。

【0005】

光通信に最も良く使用されている $1.55\mu\text{m}$ 帯の光を通す場合、シリコン細線光導波路10のコア16は断面が厚さ $0.2\mu\text{m}$ 、幅 $0.4\mu\text{m}$ である。接続導波路12のコア18は、アンダークラッド14及びオーバークラッド15のいずれよりも数%程度大きな屈折率を持ち、断面の厚さと幅は共に数 μm 程度である。シリコンテーパ部17は、長さが $200\mu\text{m}$ 、テーパ先端部の幅が $0.06\mu\text{m}$ である。シリコン細線光導波路10、スポットサイズ変換構造11及び接続導波路12に共通のオーバークラッド15は、アンダークラッド14と同じ 1.46 程度の屈折率を持つ。シリコンコア16及びシリコンテーパ部17は、電子線リソグラフィとエッチングで形成され、ポリマーコア18は、光リソグラフィで形成される。

【0006】

【非特許文献1】

莊司他，「SOI基板上に形成したSi細線光導波路の外部結合構造」，春季講演会予稿集，社団法人応用物理学会，2001年，No. 3，30a-YK-11

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

図9に示した光導波路において、スポットサイズ変換効率を高めるためには、シリコンテーパ部17の先端部の幅を $0.1\mu\text{m}$ 以下、理想的には $0.06\mu\text{m}$ 程度以下に小さくすることが求められる。しかしながら、このような微細加工は

、電子線ビーム描画等の極めて高度なリソグラフィ技術やエッチング技術を要するため、経済的に加工することが難しいという問題点があった。

本発明は、上記状況に鑑みてなされたものであり、スポットサイズ変換構造の微細なテーパ部を経済的に加工することができる光モジュール（スポットサイズ変換構造付き光導波路）を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明の光モジュールは、基板上に形成されたアンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第1のコアとを備えた第1の光導波路と、前記アンダークラッド上に前記第1のコアの端部と一体に連結して形成され、先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部と、前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に前記テーパ部を覆うように形成された第2のコアとを備えた、前記第1の光導波路よりモードフィールド径が大きい第2の光導波路とを有し、前記第1のコア及びテーパ部がシリコン酸化膜で覆われたものである。

アンダークラッドは、第1のコア及び第2のコアよりも屈折率が小さい材料、例えば石英からなる。第2のコアは、アンダークラッドよりも屈折率が高い材料、例えばポリマーからなる。第1のコアは、第2のコアよりも屈折率が高いシリコンからなる。

【0009】

また、本発明は、基板上に形成されたアンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第1のコアとを備えた第1の光導波路と、前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成された第2のコアとを備えた、前記第1の光導波路よりモードフィールド径が大きい第2の光導波路とを有し、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とを光学的に接続する光モジュールの製造方法であって、前記アンダークラッドの上に、前記第1のコアの端部と一体に連結し前記第2の光導波路側に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部を形成する工程と、前記第1のコア及びテーパ部を酸化する工程と、前記酸化したテーパ部を覆うように前記第2のコアを形成する工程とを有

するものである。

また、本発明の光モジュールの製造方法の 1 構成例は、前記第 1 のコア及びテーパ部を酸化する工程に熱酸化工程を用いるようにしたものである。

また、本発明の光モジュールの製造方法の 1 構成例において、前記第 1 のコア及びテーパ部を酸化する工程により酸化するシリコンの厚さは、酸化前の前記テーパ部の先端幅寸法の半分以上である。

また、本発明の光モジュールの製造方法の 1 構成例において、前記第 1 のコア及びテーパ部を酸化する工程は、前記第 1 のコア及びテーパ部の側面だけを酸化するようにしたものである。

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。なお図中の各構成要素の大きさ、形状及び配置関係は本発明が理解できる程度に概略的に示してあるに過ぎず、また、以下に説明する数値的条件は一つの例に過ぎない。

【0011】

[第 1 の実施の形態]

図 1 (a) は本発明の第 1 の実施の形態となる光モジュール（スポットサイズ変換構造を備えた光導波路）の平面図、図 1 (b) は図 1 (a) の光モジュールの A-A 線断面図、図 1 (c) は図 1 (a) の光モジュールの B-B 線断面図である。

【0012】

図 1 において、20 はシリコン細線光導波路、21 はスポットサイズ変換構造、22 は接続導波路、23 はシリコン基板、24 は石英からなるアンダークラッド、25 はポリマーからなるオーバークラッド、26 はシリコン細線光導波路 20 のコア、27 はコア 26 の端部に、コア 26 の断面高さ（厚さ）を維持した状態で幅寸法が先端に向かって細くなるように形成されたシリコンテーパ部、28 はポリマーからなる、スポットサイズ変換構造 21 及び接続導波路 22 のコア、30 はシリコン酸化膜である。

【0013】

シリコンテーパー部 27 は、その表面に形成されたシリコン酸化膜 30 とともに、コア 28 の端面からコア 28 内に挿入された状態で、コア 28 により覆われている。導波路の軸線に沿ってシリコンテーパー部 27 とコア 28 がシリコン酸化膜 30 を介して接する区間がスポットサイズ変換構造 21 となり、ここでは、シリコン酸化膜 30 を介してシリコンテーパー部 27 とコア 28 とが光学的に結合する状態となっている。シリコンテーパー部 27 とコア 28 との位置関係は、軸線同士が一致していることが望ましいが、コア 28 の幅内にシリコンテーパー部 27 が収まる程度の状態であれば良く、厳密な整合性を必要とするものではない。

【0014】

次に、本実施の形態の光モジュールにおける光の伝搬状態を説明する。図 1 (a)、図 1 (b) に示したシリコン細線光導波路コア 26 の左端面から入射した光は、コア 26 を伝搬しシリコンテーパー部 27 の左端位置に到達する。光がシリコンテーパー部 27 を図 1 (a) の右方向に伝搬するにつれて、コア幅が徐々に狭まり光の閉じこめが弱くなりモードフィールドが周囲に広がろうとする。ところが、このときアンダークラッド 24 より屈折率の高いコア 28 が隣接して存在するため、光パワーの分布はシリコン細線光導波路コア 26 からコア 28 へ徐々に移っていく。

【0015】

前記とは逆に図 1 (a)、図 1 (b) に示したコア 28 の右端部から光が入射した場合には、右から左へ光が進行するにつれてコア 28、シリコンテーパー部 27 を介して、シリコン細線光導波路コア 26 へ光の分布が移動する。このように、シリコンテーパー部 27 を介してシリコン細線光導波路コア 26 と接続導波路コア 28 とを接続することで、効率の高いモードフィールド径変換を実現することができる。

【0016】

次に、本実施の形態の光モジュールの製造方法を図 2、図 3 を用いて説明する。まず、シリコン基板 23 と、シリコン基板 23 上に形成されたアンダークラッド 24 と、アンダークラッド 24 上に形成された上層シリコン層 31 とからなる SOI 基板の上層シリコン層 31 上に、エッチング加工用ハードマスクとなるシ

リコン酸化膜 32 を化学気相成長法あるいはスパッタ法等を用いて形成する（図 2（a））。アンダークラッド 24 の厚さは $3.0\ \mu\text{m}$ 、上層シリコン層 31 の厚さは $0.2\ \mu\text{m} \sim 0.5\ \mu\text{m}$ である。

【0017】

続いて、シリコン酸化膜 32 の上面に電子線用のレジストを塗布した後、このレジストを電子線リソグラフィにより加工して、シリコン酸化膜パターン形成用のレジストマスク 33 を形成する（図 2（b））。レジストマスク 33 はシリコン酸化膜 32 を加工してエッチング加工用ハードマスクを形成するためのものであり、このハードマスクを用いて上層シリコン層 31 を加工してシリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 を形成するのであるから、形成後のシリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 の平面形状は、レジストマスク 33 と同一である。

【0018】

ただし、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 の形成後に、後述する酸化工程によってシリコンの幅を減少させるので、図 4 に示すように酸化後の最終作製目標値に対して、酸化で減少する量だけシリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 の幅（すなわち、レジストマスク 33 の幅）を大きく設定しておく必要がある。

【0019】

例えば、シリコン細線光導波路コア 26 の幅の最終作製目標値を $0.3\ \mu\text{m}$ 、シリコンテーパー部 27 の先端部の幅の最終作製目標値を $0.06\ \mu\text{m}$ 、酸化により減少するシリコンの厚さを $0.05\ \mu\text{m}$ とすると、酸化前のシリコン細線光導波路コア 26 の幅が $0.4\ \mu\text{m}$ 、酸化前のシリコンテーパー部 27 の先端部の幅が $0.16\ \mu\text{m}$ となるように、レジストマスク 33 を形成する。シリコンテーパー部 27 の先端部は、図 4 に示すように台形状に形成しておく。

【0020】

なお、幅方向と同様に、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 の厚さも酸化によって減少するので、酸化で減少する量だけ上層シリコン層 31 を予め厚くしておく必要がある。例えば、シリコン細線光導波路コア 26 及

びシリコンテーパー部 27 の厚さの最終作製目標値を $0.3\ \mu\text{m}$ とすれば、上層シリコン層 31 の厚さを $0.35\ \mu\text{m}$ にしておけばよい。

【0021】

次に、レジストマスク 33 を用いてシリコン酸化膜 32 をエッチングして、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 をエッチングするためのハードマスク 29 を形成した後、レジストマスク 33 をアッシングにより除去する（図 2（c））。そして、ハードマスク 29 を用いて上層シリコン層 31 をエッチングして、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 を形成し（図 2（d））、ウエットエッチングによりハードマスク 29 を除去する（図 2（e））。

【0022】

次に、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 を形成した SOI 基板全体を酸素雰囲気中 900 度で加熱して、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 を酸化させ、シリコン酸化膜 30 を形成する（図 2（f））。このとき、シリコンは酸化されてシリコン酸化膜 30 に変化するので、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 の幅と厚さは酸化時間と共に減少する。図 4 に示したように、シリコンテーパー部 27 がシリコン細線光導波路コア 26 から先端に向かって漸次細くなるように酸化前の形をテーパー状に形成しておけば、酸化後の形もテーパー状となる。

【0023】

続いて、シリコン細線光導波路コア 26、シリコンテーパー部 27 及びシリコン酸化膜 30 を形成した SOI 基板上に、アンダークラッド 24 より屈折率が 2% 程度高いポリマー系材料を化学気相成長法あるいはスピニング法などにより $3.0\ \mu\text{m}$ 程度堆積する。そして、このポリマー系材料を光露光法とエッチングにより加工して、スポットサイズ変換構造 21 及び接続導波路 22 のコア 28 を形成する（図 3（a））。

【0024】

最後に、シリコン細線光導波路コア 26、シリコンテーパー部 27、シリコン酸化膜 30 及びコア 28 を形成した SOI 基板上に、アンダークラッド 24 と同じ

屈折率を持つ石英系あるいはポリマー系材料を $5.0\ \mu\text{m}$ 以上堆積して、オーバーラッド 25 を形成する（図 3（b））。こうして、図 1 の光モジュールが完成する。

【0025】

以上のように、本実施の形態によれば、シリコンテーパー部 27 を酸化させて細くするので、酸化量とシリコンテーパー部 27 の先端部の初期幅の設定により、先端部の初期幅が $0.1\ \mu\text{m}$ 以上の場合でも、先端部の幅を最終的に $0.06\ \mu\text{m}$ 以下にすることができる。したがって、本実施の形態の方法によれば、リソグラフィの解像限界を超えて $0.1\ \mu\text{m}$ 以下の解像度のパターン形成をすることが可能である。さらに、シリコン酸化膜 30 がシリコンテーパー部 27 の両側に固着して存在するため、コア 27 の先端部においてシリコンの幅がいかほど狭くなっても、コア 27 が倒れることを防止することができる。

【0026】

なお、本実施の形態では、シリコンテーパー部 27 の先端部の幅を $0.06\ \mu\text{m}$ 程度にしているが、図 5 に示すように、酸化前のテーパー先端部の幅を L 、酸化により減少させるシリコンの厚さを D としたとき、 $D \geq L/2$ 、すなわち酸化により減少させるシリコンの厚さ D を酸化前のテーパー先端部の幅 L の半分と等しいかそれよりも大きな量とすることにより、原理的に最も変換効率が高くなるテーパー先端部幅 $0\ \mu\text{m}$ のシリコンテーパー部 27 を実現することが可能である。

【0027】

[第 2 の実施の形態]

図 6（a）は本発明の第 2 の実施の形態となる光モジュールの平面図、図 6（b）は図 6（a）の光モジュールの A-A 線断面図、図 6（c）は図 6（a）の光モジュールの B-B 線断面図であり、図 1 と同様の構成には同一の符号を付してある。

【0028】

以下、本実施の形態の光モジュールの製造方法を図 7、図 8 を用いて説明する。まず、図 7（a）～図 7（d）までの工程は、第 1 の実施の形態の図 2（a）～図 2（d）までの工程と全く同じである。次に、第 1 の実施の形態では、シリ

コン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 を形成した後、この際にエッチングに用いたハードマスク 29 をウエットエッチングにより除去しているが、本実施の形態では、ハードマスク 29 を残したまま、第 1 の実施の形態と同様の酸化工程を行う。これにより、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 は、上面が酸化せずに側面のみが酸化し、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 の側面にシリコン酸化膜 30 が形成される（図 7（e））。

【0029】

図 7（f）、図 8（a）の工程は、それぞれ図 3（a）、図 3（b）の工程と同様である。以上のように、本実施の形態では、ハードマスク 29 を残し、シリコン細線光導波路コア 26 及びシリコンテーパー部 27 の側面のみを酸化することで、形状制御を容易にすることができる。

なお、第 1、第 2 の実施の形態では、シリコンテーパー部 27 とコア 28 とがシリコン酸化膜 30 を介して接しているが、通信に使用される光の波長（例えば $1.55\mu\text{m}$ ）に対してシリコン酸化膜 30 は十分に薄いため、シリコン細線光導波路コア 26 とコア 28 との光学的接続にシリコン酸化膜 30 が影響を与えることはない。

【0030】

【発明の効果】

本発明によれば、第 1 の光導波路の第 1 のコアとこの第 1 のコアの端部に一体に連結したテーパー部を酸化するようにしたので、テーパー部の先端幅寸法が $0.06\mu\text{m}$ 程度以下のシリコンコアを、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の解像度を持たないリソグラフィプロセスを用いて、精度良く経済的に加工することができる。

【0031】

また、酸化により減少するシリコンの厚さを、酸化前のテーパー部の先端幅寸法の半分以上とすることにより、原理的に最も変換効率が高くなる先端幅寸法 $0\mu\text{m}$ のテーパー部を実現することができる。

【0032】

また、第 1 のコア及びテーパー部の側面だけを酸化することにより、酸化により

減少するシリコンの厚さと酸化前のテーパ部の幅寸法のみを考慮して酸化を行えばよいので、形状制御を容易にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態となる光モジュールの平面図及び断面図である。

【図 2】 本発明の第 1 の実施の形態の光モジュールの製造方法を示す工程断面図である。

【図 3】 本発明の第 1 の実施の形態の光モジュールの製造方法を示す工程断面図である。

【図 4】 酸化前及び酸化後のシリコン細線光導波路コアとシリコンテーパ部の 1 例を示す平面図である。

【図 5】 酸化前及び酸化後のシリコン細線光導波路コアとシリコンテーパ部の他の例を示す平面図である。

【図 6】 本発明の第 2 の実施の形態となる光モジュールの平面図及び断面図である。

【図 7】 本発明の第 2 の実施の形態の光モジュールの製造方法を示す工程断面図である。

【図 8】 本発明の第 2 の実施の形態の光モジュールの製造方法を示す工程断面図である。

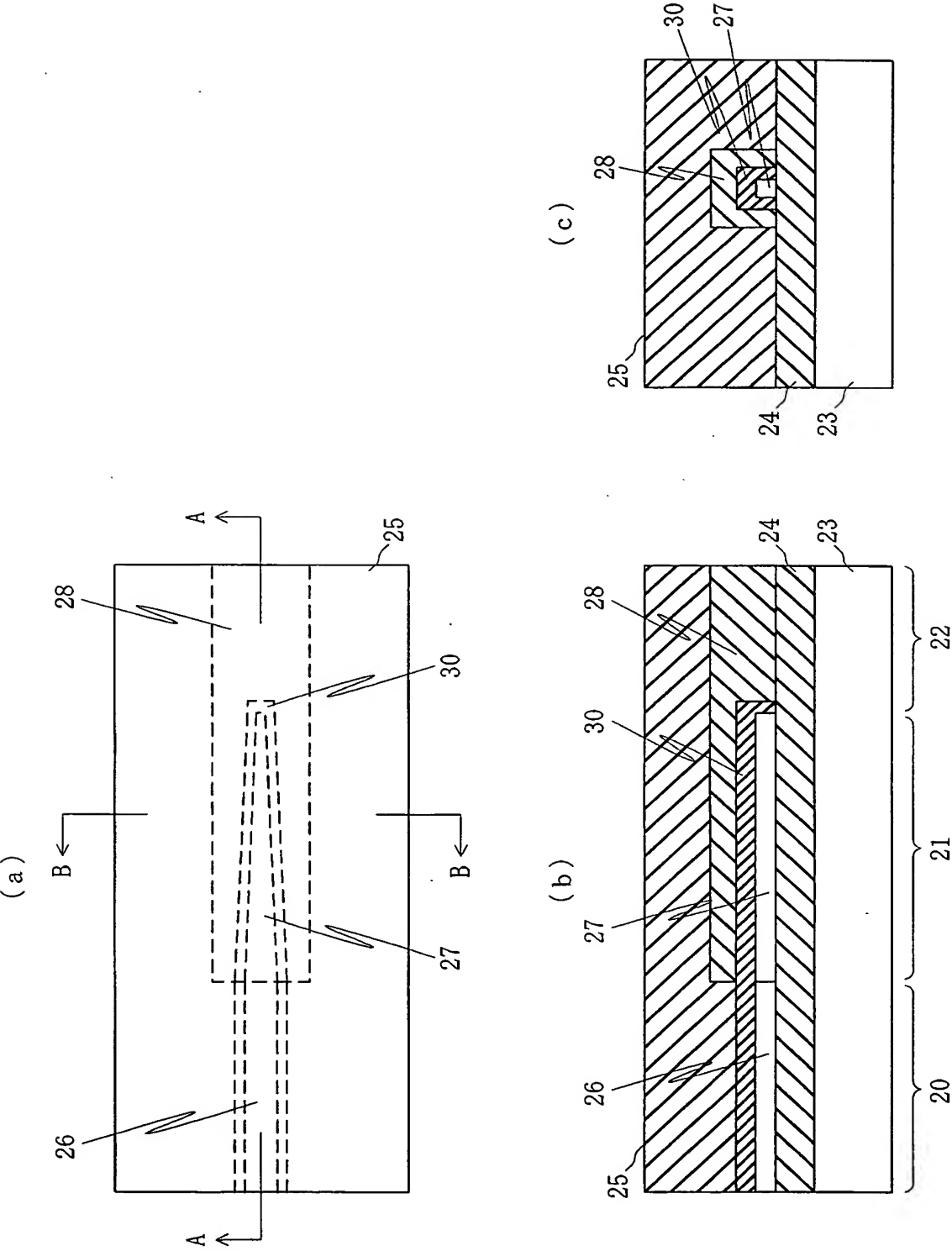
【図 9】 スポットサイズ変換構造を備えた従来の光導波路の平面図及び断面図である。

【符号の説明】

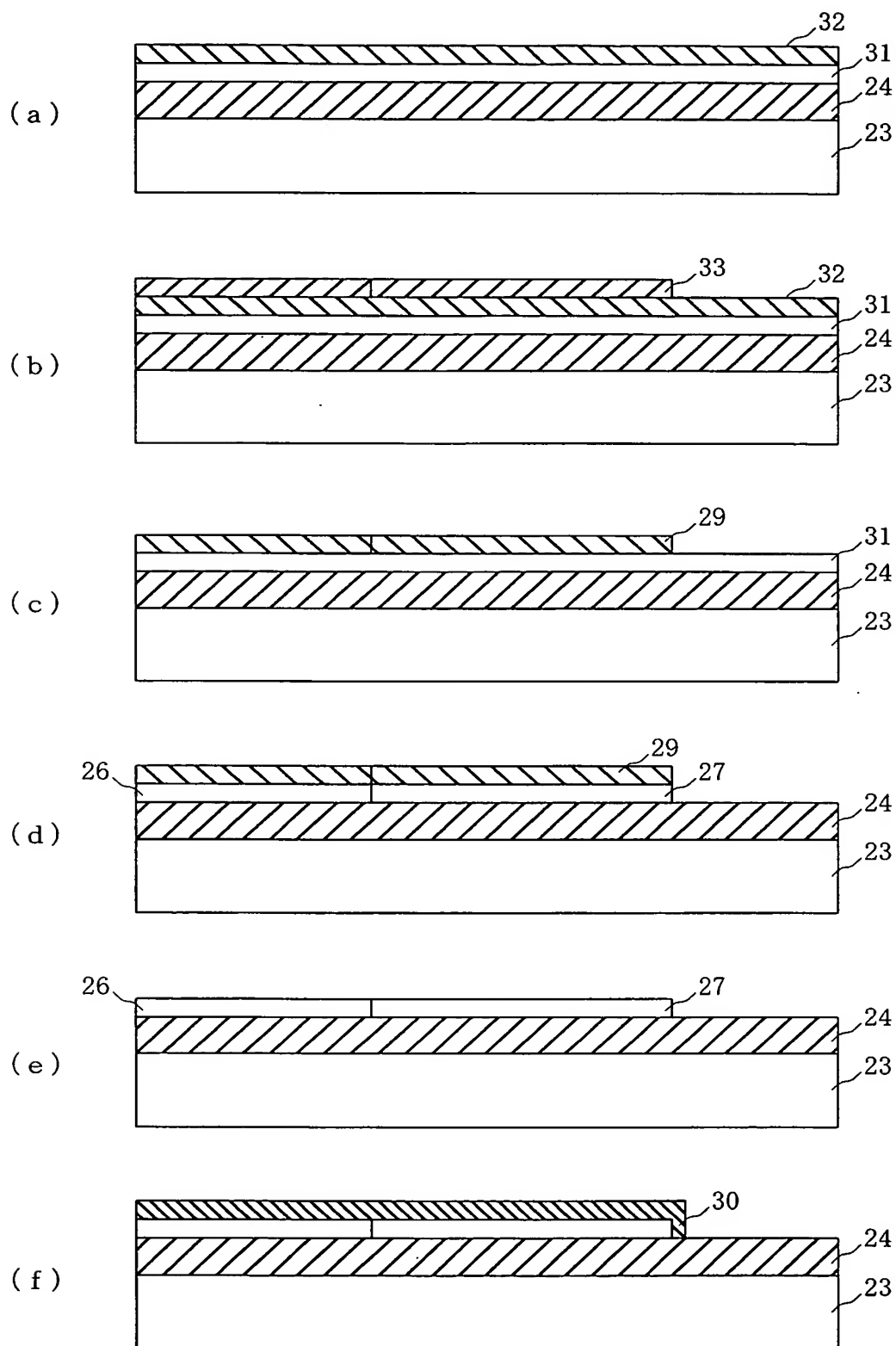
20…シリコン細線光導波路、21…スポットサイズ変換構造、22…接続導波路、23…シリコン基板、24…アンダークラッド、25…オーバークラッド、26…シリコン細線光導波路コア、27…シリコンテーパ部、28…スポットサイズ変換構造及び接続導波路のコア、29…ハードマスク、30…シリコン酸化膜。

【書類名】 図面

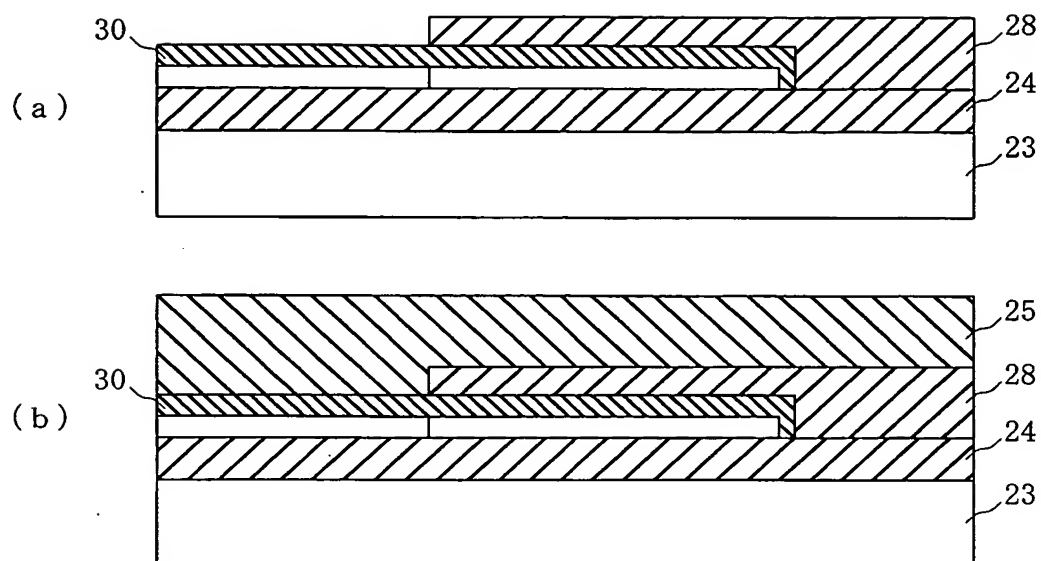
【図 1】



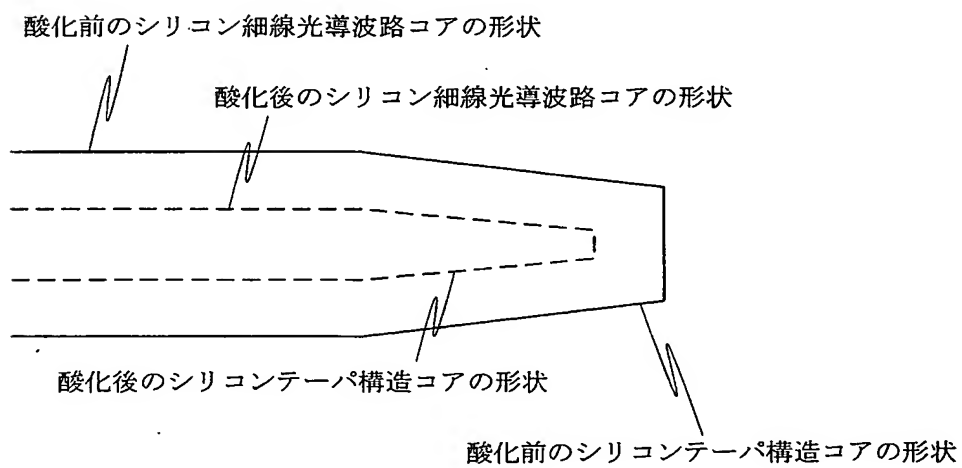
【図 2】



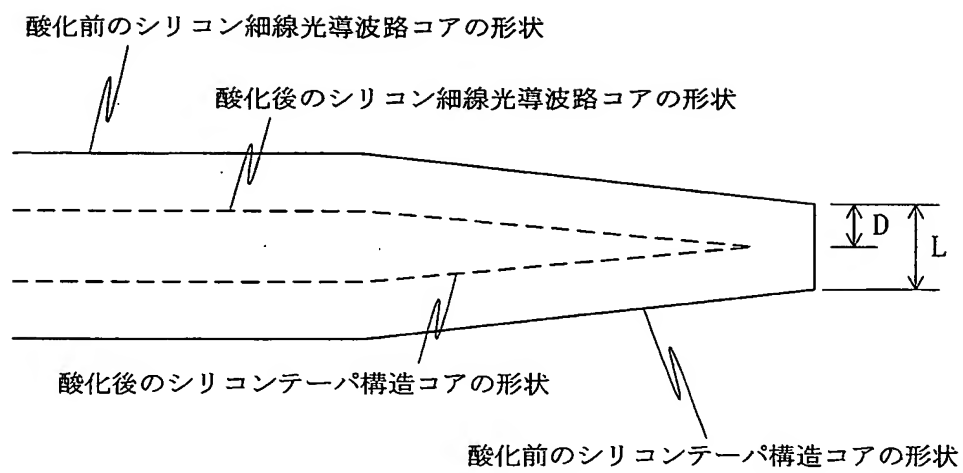
【図 3】



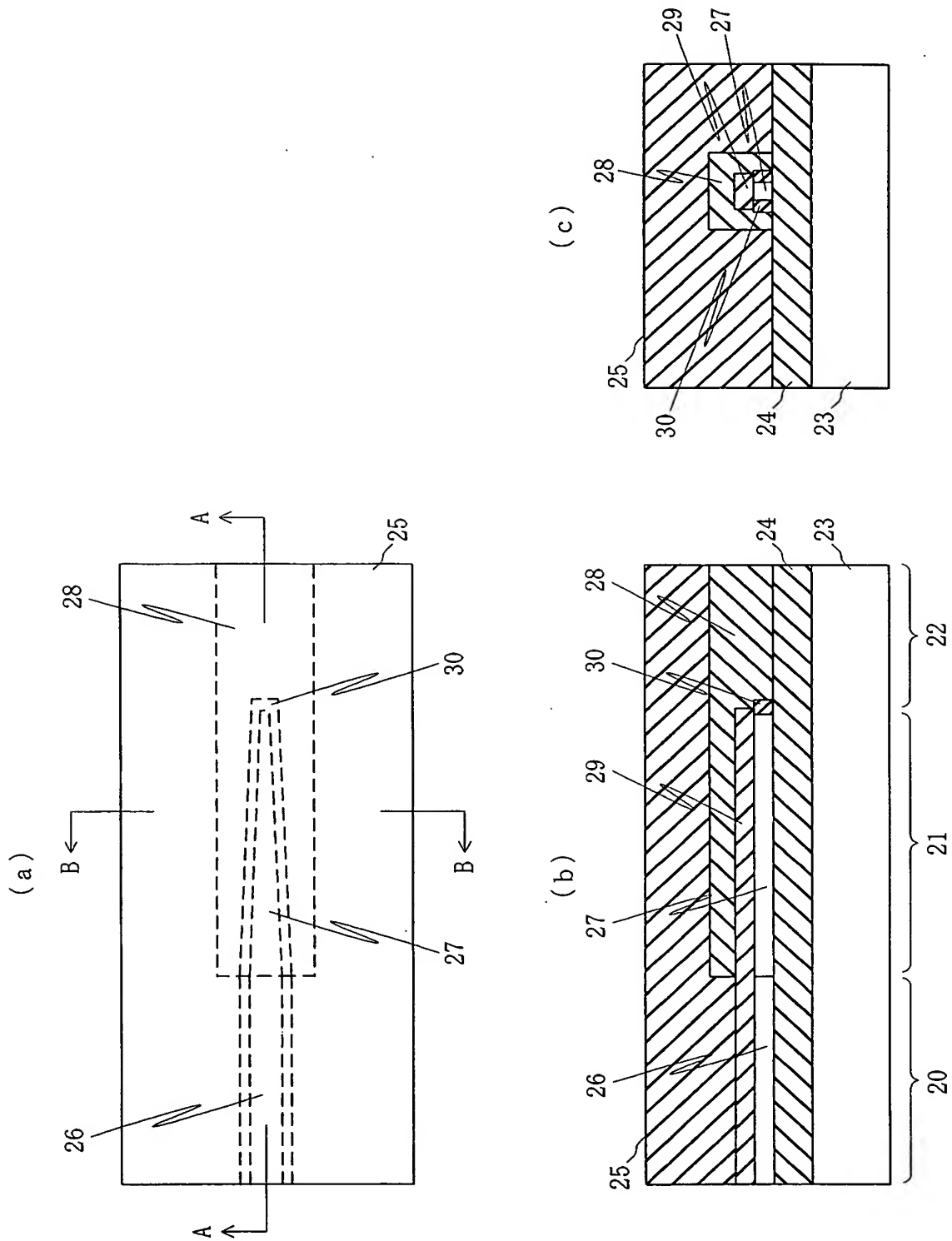
【図 4】



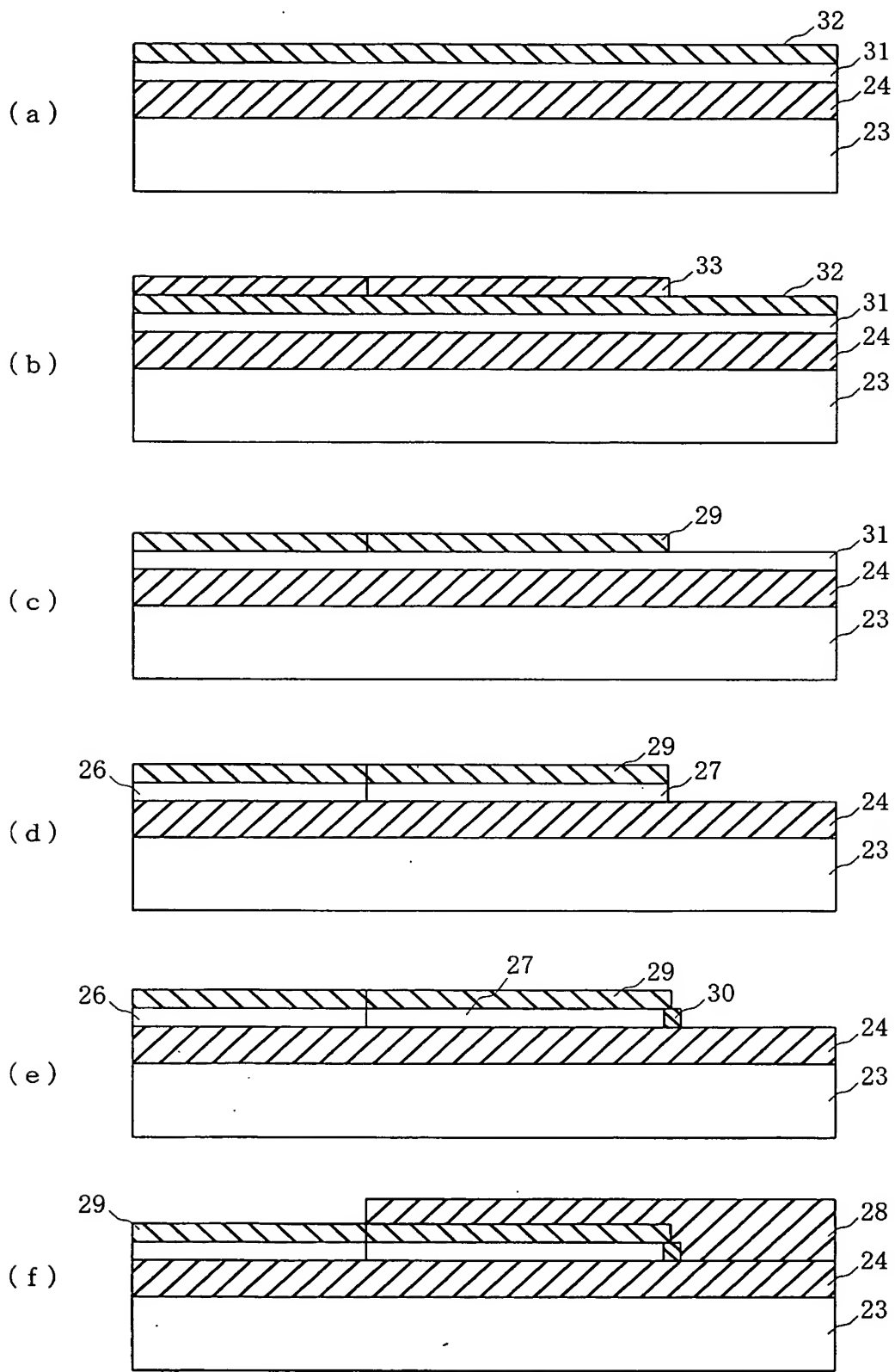
【図 5】



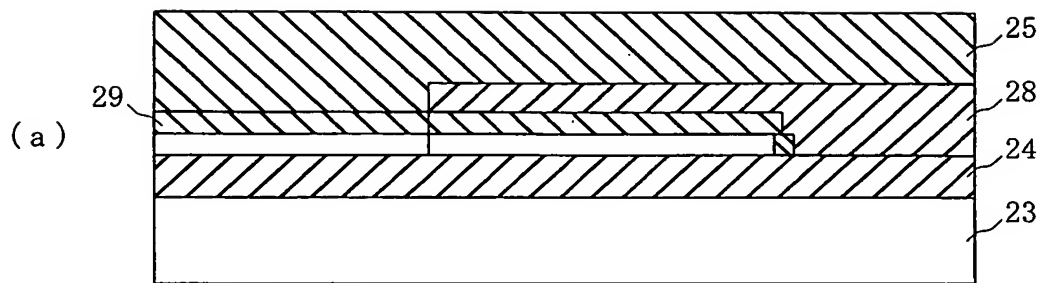
【図 6】



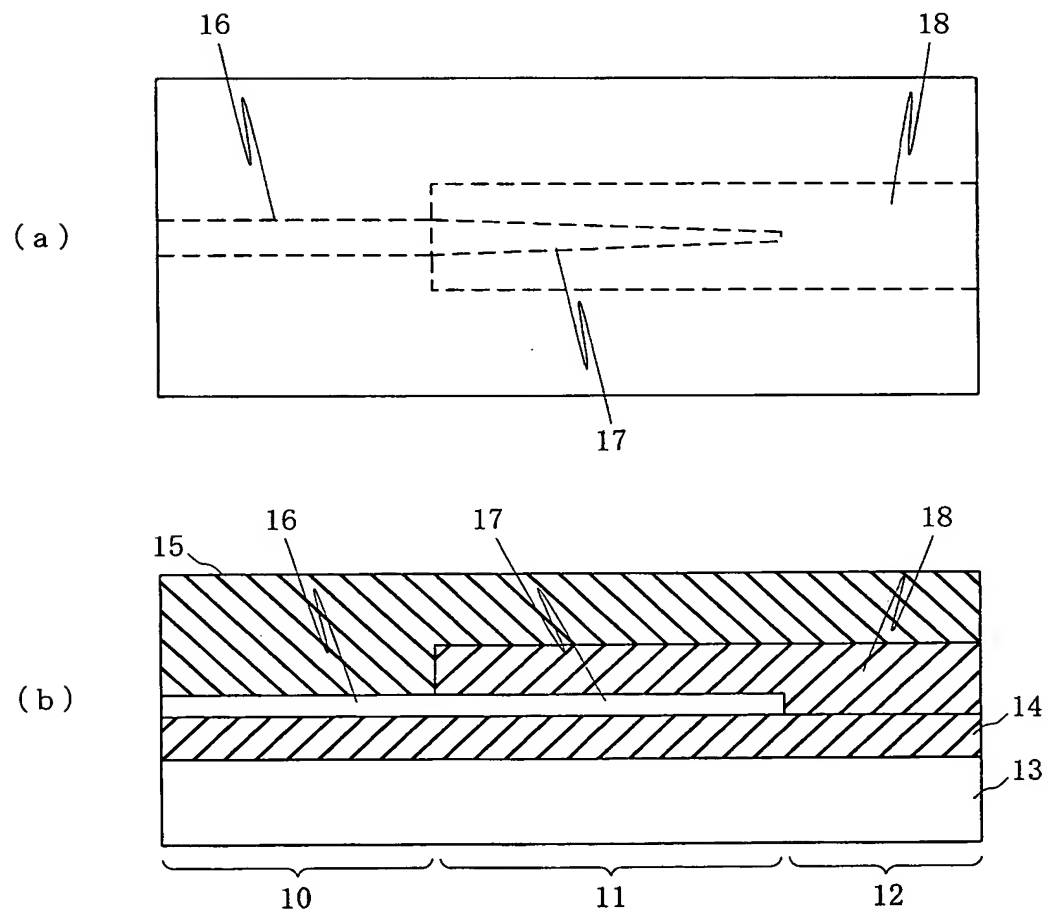
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 スポットサイズ変換構造の微細なテーパ部を経済的に加工する。

【解決手段】 光モジュールは、シリコン基板 23 上に形成されたアンダークラッド 24 とシリコンからなる第 1 のコア 26 を備えた第 1 の光導波路と、アンダークラッド 24 と第 2 のコア 28 を備えた、第 1 の光導波路よりモードフィールド径が大きい第 2 の光導波路とを有し、第 1 の光導波路と第 2 の光導波路を光学的に接続する。アンダークラッド 24 の上に、第 1 のコア 26 の端部と一体に連結し先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部 27 を形成し、第 1 のコア 26 及びテーパ部 27 を酸化し、酸化したテーパ部 27 を覆うように第 2 のコア 28 を形成する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 2 7 5 2 1 6

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社